




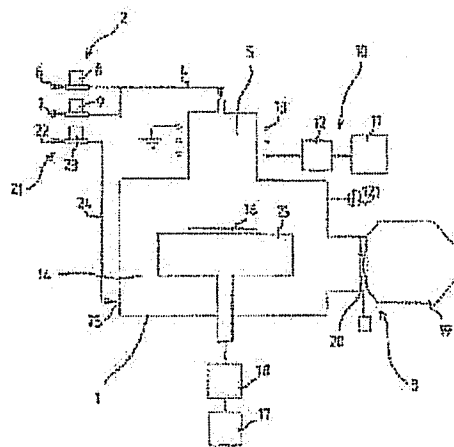
**PLASMA VACUUM SUBSTRATE TREATMENT PROCESS AND SYSTEM****Publication number:** JP2001127049 (A)**Publication date:** 2001-05-11**Inventor(s):** PUECH MICHEL**Applicant(s):** CIT ALCATEL**Classification:**

**- international:** H05H1/46; C23C16/507; H01J37/32; H01L21/205; H01L21/302;  
H01L21/3065; H01L21/3213; H05H1/46; C23C16/50;  
H01J37/32; H01L21/02; (IPC1-7): H01L21/3065; C23C16/507;  
H01L21/205; H05H1/46

**- European:** H01J37/32D2; H01L21/3065B; H01L21/3213C4B

**Application number:** JP20000243842 20000811**Priority number(s):** FR19990010799 19990826**Also published as:** EP1079425 (A1) FR2797997 (A1) US6431113 (B1)**Abstract of JP 2001127049 (A)**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a plasma vacuum substrate treatment process and a system that can quickly change the flow of active gases in a vacuum enclosure. **SOLUTION:** In a process for treating a substrate 16 arranged in a vacuum enclosure 1, the present invention provides for compensating any variation of the active gas supply flowrate via active gas supply pipe 4 by injecting a complementary flowrate of control gas into an area 25 close to controlled gas suction means 3. This prevents a pressure control system and an impedance matching system from being unable to respond to variations in the input active gas flowrate in about one second.

**FIG. 1**

Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

(11)特許出願公開番号

特開2001-127049

(P2001-127049A)

(43)公開日 平成13年5月11日(2001.5.11)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	ページト* (参考)
H 0 1 L 21/3065		C 2 3 C 16/507	
C 2 3 C 16/507		H 0 1 L 21/205	
H 0 1 L 21/205		H 0 5 H 1/46	L
H 0 5 H 1/46		H 0 1 L 21/302	B

審査請求 未請求 請求項の数12 OL 外国語出願 (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2000-243842(P2000-243842)	(71) 出願人	391030332 アルカテル
(22) 出願日	平成12年8月11日(2000.8.11)		フランス国、75008 パリ、リュ・ラ・ボ エティ 54
(31) 優先権主張番号	9 9 1 0 7 9 9	(72) 発明者	ミシエル・ピュー・シユ
(32) 優先日	平成11年8月26日(1999.8.26)		フランス国、74370・メス・テシー、シユ マン・ドユ・ボワ・ベルナール・9
(33) 優先権主張国	フランス (FR)	(74) 代理人	100062007 弁理士 川口 義雄 (外3名)

(54) 【発明の名称】 プラズマ真空基板処理方法およびシステム

(57) 【要約】

【課題】 真空エンクロージャ内の活性ガスの流れを急速に変化させることができる、プラズマ真空基板処理方法およびシステムを提供する。

【解決手段】 真空エンクロージャ 1 内に配置された基板 16 を処理するための方法において、本発明は、制御されたガス吸気手段 3 の近傍にある領域 25 に、補完流量の制御ガスを注入することによって、活性ガス供給パイプ 4 を介する活性ガス供給流量の変動の補償を与える。これは、圧力制御システムおよびインピーダンスマッチングシステムが、入力活性ガス流量の変動に 1 秒程度の時間で応答することができなくなることを避ける。

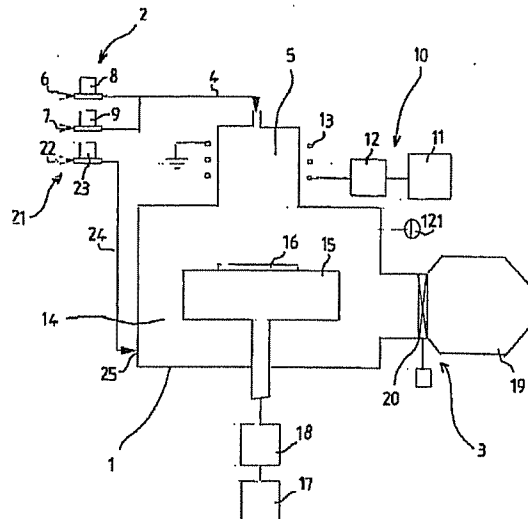


FIG. 1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 プラズマ真空基板処理方法であって、制御された活性ガス注入手段(2)を介して注入され、制御されたガス吸気手段(3)を介して排気される活性ガスを含んでいる真空エンクロージャ(1)内に基板(16)が配置され、活性ガスはプラズマ発生手段(10)によってイオン化され、基板(16)は、制御された衝撃エネルギー発生装置(17、18)によって生成される電気衝撃エネルギーを受け取り、制御されたガス吸気手段(3)の真空エンクロージャ(1)内のガス圧力を調整する能力よりも大きい変動率での、注入される活性ガスの流れの少なくとも1回の変動シーケンスを含み、制御された衝撃エネルギー発生装置(17、18)によって見られるプラズマのインピーダンスが、活性ガス注入流れ変動シーケンス中に、補助補償手段(21)によってほぼ一定に維持されることを特徴とするプラズマ真空基板処理方法。

【請求項2】 制御された衝撃エネルギー発生装置(17、18)によって見られるプラズマのインピーダンスが、真空エンクロージャ(1)内に注入されるガスの総流量をほぼ一定に維持するような、真空エンクロージャ(1)への少なくとも一種類の受動制御ガス(G3)の制御された注入によって、ほぼ一定に維持されることを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項3】 イオン化されるのを防ぐために、受動制御ガス(G3)が、制御されたガス吸気手段(3)に近接する領域(25)で真空エンクロージャ(1)内に注入されることを特徴とする請求項2に記載の方法。

【請求項4】 第1の注入流量(D1)で活性ガスを注入するステップと、第1の注入流量(D1)とは異なる第2の注入流量(D2)で活性ガスを注入するステップとの連続を含み、前記ステップの少なくともいくつか、制御されたガス吸気手段(3)の反応時間よりも短いことを特徴とする請求項1から3のいずれか一項に記載の方法。

【請求項5】 基板(16)に伝達される衝撃パワーが、ステップごとに異なることを特徴とする請求項4に記載の方法。

【請求項6】 基板(16)のエッチングに適用されることを特徴とする請求項2から5のいずれか一項に記載の方法。

【請求項7】 シリコンベース基板(16)をエッチングするために、第1の活性ガス(G1)が、第1の時間期間(T1)中第1の流量(D1)での $\text{SF}_6$ であるエッチングステップと、第2の活性ガス(G2)が、第2の時間期間(T2)中第2の流量(D2)での $\text{C}_4\text{F}_8$ であり、窒素やアルゴンなど補完流量( $\text{D}3=\text{D}1-\text{D}2$ )の受動制御ガス(G3)を同時に注入する保護層生成ステップとを含む、交互の短いステップの連続が使用

されることを特徴とする請求項6に記載の方法。

【請求項8】 基板(16)上に堆積物を堆積するために適用されることを特徴とする請求項1から5のいずれか一項に記載の方法。

【請求項9】 プラズマ真空基板(16)処理システムであって、真空エンクロージャ(1)と、真空エンクロージャ(1)内にガスを注入するための制御された活性ガス注入手段(2)と、真空エンクロージャ(1)外にガスを吸気するための制御されたガス吸気手段(3)と、真空エンクロージャ(1)内のプラズマ発生手段(10)と、真空エンクロージャ(1)内で基板(16)を支持するための基板支持手段(15)と、基板支持手段(15)上に配置された基板(16)に、適切なレベルの衝撃エネルギーを伝達するように構成された制御された衝撃エネルギー発生装置(17)とを含み、さらに、ガス進入流量の変動がある場合に、制御された衝撃エネルギー発生装置(17)によって見られるプラズマのインピーダンスをほぼ一定に維持するため、およびガス吸気流量をほぼ一定に維持するための補助補償手段(21)を含むことを特徴とするプラズマ真空基板(16)処理システム。

【請求項10】 補助補償手段が、真空エンクロージャ(1)への少なくとも一種類の受動制御ガスの制御された注入を行うための手段(21)を含むことを特徴とする請求項9に記載のシステム。

【請求項11】 制御された受動制御ガスの注入手段(21)が、制御されたガス吸気手段(3)の近傍にある真空エンクロージャ(1)の領域(25)に、受動制御ガスを注入するように構成された請求項10に記載のシステム。

【請求項12】 真空エンクロージャ(1)に注入されるガスの総流量をほぼ一定に維持するために、制御された受動制御ガスの注入手段(21)を制御するための制御手段を含むことを特徴とする請求項9から11のいずれか一項に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、基板のプラズマ真空処理(エッチングまたは堆積)に関する。

【0002】

【従来の技術】文献WO94/14187に記載されているエッチング方法などのプラズマ真空基板処理方法が、当技術分野ですでに知られており、その文献では、具体的には制御された活性ガス注入手段を介して注入され、制御されたガス吸気手段を介して排気される活性ガスを含んでいる真空エンクロージャ内に基板が配置され

る。活性ガスは、プラズマ発生手段によってイオン化される。真空エンクロージャ内の基板は、それが接続される制御された衝撃発生装置によって生成される衝撃電気エネルギーを受け取る。

【0003】エッチングステップ中、イオン化によって生成された六フッ化硫黄など反応性材料のイオンが、衝撃エネルギーによって加速され、基板、例えばシリコンベース基板のマスクによって覆われていない領域に衝突する。活性イオンは、基板の材料と結合して、ガス吸気手段によって排気されるガス状物質を形成する。

【0004】1つの問題は、適切に定められた外形を示すエッチングを得ること、すなわちキャビティが、できるだけ整った、かつ基板の表面に垂直な側壁を有することである。

【0005】このために、文献WO94/14187は、エッチングステップと保護層生成ステップとを交互に続けることによって、エッチングを行うことを教示している。保護層生成ステップ中、真空エンクロージャは、トリフルオロメタン ( $\text{CHF}_3$ ) など第1のタイプの活性ガスを含み、キャビティの底部および側面を含めた基板の表面全体にわたって重合層を生成する。エッチングステップ中、真空エンクロージャは、六フッ化硫黄など第2のタイプの活性ガスを含み、キャビティの底部に選択的に当たる方向性衝撃を生成するように、基板に向けて加速されたイオンを発生し、それが側面に当たることなく、基板の材料をキャビティの底部から選択的に除去する。

【0006】しかし、エッチングステップが、側面の重合保護層の下端縁部に関してキャビティの底部を下げ、その結果、側面の下端に、重合材料の層によって保護されない領域が現れることは明らかである。活性イオン衝撃は、キャビティの底部を切り下げ、キャビティを広げる傾向があり、キャビティの側面の整然さに影響を及ぼす。

【0007】この現象を避けるために、短いエッチングステップと短い保護層生成ステップとを、高速で交互に繰り返して使用する必要がある。

【0008】他の問題は、エッチングおよび保護層生成に関して性能を最適化することである。

【0009】ほとんどのプラズマ真空処理方法（エッチングまたは堆積）では、エッチングまたは堆積性能を最適化するために変更することができる主なパラメータは、様々なガスの流量、作動圧力、プラズマを生成するためにプラズマに結合される電磁パワー、基板が衝撃を受けるエネルギーである。

【0010】堆積またはエッチングの速度と同様に、マスクに関する選択性、エッチングプロファイルの整然さ、堆積される層の整合性、エッチングまたは堆積性能は、プラズマに結合されるパワー、作動圧力、および基板衝撃エネルギーに関する気相放電の条件に依存する。

【0011】概して、堆積またはエッチング方法を最適化するために、様々なガスの流量、プラズマに結合される電磁パワー、および基板衝撃エネルギーが、処理全体にわたって正確な、かつ一定の値に最適化される。

【0012】例えば、パターンがシリコンウェハにプラズマエッチングされる場合、活性ガス流量が、適切に定められ、かつ一定の値に設定され、プラズマに結合される電磁パワーが正確な値に合わされ、それと同様に作動圧力の値およびバイアス電圧が正確な値に合わされて、基板がイオンによって衝撃を受けるエネルギーを決定する。上の値は、処理ステップを通して一定に保たれる。特にガス流量は正確な値に設定され、圧力は、圧力調整器システムを使用して所定の値に維持される。圧力調整器システムは一般に、作動圧力に従動する調整器バルブの少なくとも1つの下流側ポンプを含むポンプシステムであり、それにより制御されたガス吸気手段を構成する。したがって、必要なガス流量とは関係なく、圧力調整器バルブが設定され、それにより反応チャンバの必要な作動圧力を得る。

【0013】上の制御されたガス吸気手段は、ガス流量がゆっくりと変動する場合には、正常に動作して、圧力を調整する。しかし、文献WO94/14187によるエッチング方法では、十分に整然としたキャビティ側面を達成するために、十分に高い周波数でエッチングステップと保護層生成ステップとを交互に繰り返すことによって、エッチングステップだけでなく保護層生成ステップも最適化する場合に生じる可能性がある変動など、ガス流量の高速の変動に効率良く追従することができないことは明らかである。例えば、交互の段階が、約3秒の期間のエッチング段階と、約1秒の期間の保護層生成段階とを含むことが有益である場合がある。エッチングステップ中のガス流量が、保護層生成ステップ中のガス流量と異なる場合、制御された調整バルブの機械的慣性が、この速さで変動を追従することができない。

【0014】制御された調整器バルブの機械的慣性は、2つの連続する短い処理ステップを最適化するために、2つの連続する異なる値にガス圧力を急速に設定することも可能でない。

【0015】他の問題は、真空エンクロージャ内部のガス圧力が、2つの連続するステップ間で変化する場合、これが、基板に接続された制御された衝撃エネルギー発生装置によって見られるプラズマのインピーダンスの変動を生み、そのため処理の整然さを保証するように、衝撃エネルギーを効率良く制御することがもはや可能でなくなる。

【0016】制御された衝撃エネルギー発生装置は一般に、エネルギー源のインピーダンスをプラズマのインピーダンスにマッチングさせるためのインピーダンスアダプタに結合されている。

【0017】インピーダンスアダプタは、プラズマのインピーダンスの遅い変動に追従することができ、そのために、コンデンサ極板を互いに機械的に動かすことによって静電容量が変化する可変コンデンサを備える。しかし、上の種類のデバイスは、高速のインピーダンス変動、すなわち1 Hz程度の周波数で生じる変動に追従することができない。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】したがって、本発明によって取り組まれる問題は、基板のイオン衝撃を制御し調整するための手段に影響することなく、真空エンクロージャ内の活性ガスの流れを、基板の真空処理のために急速に変化させることができる方法およびシステムを考案することである。

【0019】本発明の他の目的は、圧力調整器バルブを採用する従来の制御されたガス吸気手段を使用し、しかし活性ガス流量を急速に変化させることを可能にする、真空エンクロージャ内での制御された圧力を得るための手段を提供することである。

【0020】

【課題を解決するための手段】上述およびその他の目的を達成するために、本発明のプラズマ真空基板処理方法では、制御された活性ガス注入手段を介して注入され、制御されたガス吸気手段を介して排気される活性ガスを含んでいる真空エンクロージャ内に、基板が配置され、活性ガスはプラズマ発生手段によってイオン化され、基板は、制御された衝撃エネルギー発生装置によって生成された電気衝撃エネルギーを受け取り、さらにこの方法は、制御されたガス吸気手段の真空エンクロージャ内のガス圧力を調整する能力よりも大きい変動率での、注入される活性ガスの流れの少なくとも1回の変動シーケンスを含み、制御された衝撃エネルギー発生装置によって見られるプラズマのインピーダンスが、活性ガス注入流れ変動シーケンス中に、補助補償手段によってほぼ一定のレベルに維持される。

【0021】本発明の有利な実施形態では、制御された衝撃エネルギー発生装置によって見られるプラズマのインピーダンスが、真空エンクロージャ内に注入されるガスの総流量をほぼ一定に維持するような、真空エンクロージャへの少なくとも一種類の受動制御ガスの制御された注入によって、ほぼ一定に維持される。

【0022】イオン化されるのを防ぐために、受動制御ガスは、制御されたガス吸気手段に近接する領域で真空エンクロージャ内に注入されることが好ましい。

【0023】第1の適用例では、この方法は、第1の注入流量で活性ガスを注入するステップと、第1の注入流量とは異なる第2の注入流量で活性ガスを注入するステップとの連続を含み、ステップの少なくともいくつかは、制御されたガス吸気手段の反応時間よりも短い。

【0024】基板に伝達される衝撃パワーは、ステップ

ごとに異なる場合がある。

【0025】この方法は、基板、例えばシリコンベース基板のエッチングに適用することができる。この場合、第1の活性ガスが、第1の時間期間中第1の流量でのSF<sub>6</sub>であるエッチングステップと、第2の活性ガスが、第2の時間期間中第2の流量でのC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>であり、窒素やアルゴンなど補完流量の受動制御ガスを同時に注入する保護層生成ステップとの、交互の短いステップの連続を使用するのが有利である。

【0026】そうではなく、この方法を、基板上に堆積物を堆積するために適用することもできる。

【0027】上のような方法を実施するための本発明のプラズマ真空基板処理システムは、真空エンクロージャと、真空エンクロージャ内にガスを注入するための制御された活性ガス注入手段と、真空エンクロージャ外にガスを吸気するための制御されたガス吸気手段と、真空エンクロージャにおけるプラズマ発生手段と、真空エンクロージャ内で基板を支持するための基板支持手段と、基板支持手段上に配置された基板に、適切なレベルの衝撃エネルギーを伝達するように構成された制御された衝撃エネルギー発生装置と、ガス進入流量が変動する場合に、制御された衝撃エネルギー発生装置によって見られるプラズマのインピーダンスをほぼ一定に維持するため、およびガス吸気流量をほぼ一定に維持するための補助補償手段とを備える。

【0028】有利な実施形態では、補助補償手段が、真空エンクロージャ内への少なくとも一種類の受動制御ガスの制御された注入を行うための手段を含む。

【0029】制御された受動制御ガスの注入手段は、制御されたガス吸気手段の近傍にある真空エンクロージャの領域内に、受動制御ガスを注入するように構成されていることが好ましい。

【0030】システムは、真空エンクロージャ内に注入されるガスの総流量をほぼ一定に維持するために、制御された受動制御ガスの注入手段を制御するための制御手段を含むことが有利である。

【0031】本発明の他の目的、特徴および利点は、添付の概略図面を参照して行う、本発明の特定の実施形態についての以下の説明から明らかになる。

【0032】

【発明の実施の形態】図1に示される実施形態では、プラズマ真空基板処理システムは、真空エンクロージャ1と、真空エンクロージャ1内にガスを注入するための制御された活性ガス注入手段2と、真空エンクロージャ1外にガスを吸気するための制御されたガス吸気手段3とを含む。

【0033】制御された活性ガス注入手段2は、真空エンクロージャ1の頂部5に接続され、第1の活性ガス供給機構6からの第1の活性ガスG1と、第2の活性ガス供給機構7からの第2の活性ガスG2とを受け取る活性

ガス供給パイプ4を含み、各活性ガス供給機構は、それぞれ流量計8、9に結合されている。

【0034】また、真空エンクロージャ1の頂部5は、励磁インピーダンスアダプタ12を介して励磁巻線13に接続された高周波励磁発生装置11を含むプラズマ発生手段10を含む。プラズマ発生手段10は、真空エンクロージャ1の頂部内でガスをイオン化して、プラズマを形成する。

【0035】真空エンクロージャ1の底部14内にある基板支持機構15は、処理される基板16を支持する。基板16は、プラズマを含む頂部5に面している。基板支持機構15は、衝撃インピーダンスアダプタ18を介して、制御された衝撃エネルギー発生装置17に電氣的に接続される。

【0036】制御されたガス吸気手段3は、吸気口が、圧力制御されたバルブ20を介して真空エンクロージャ1の底部14に接続されている、ガスポンピング手段19を含む。圧力制御されたバルブ20は、真空エンクロージャ1内部の圧力を検知するよう構成された圧力ゲージ121から情報を受け取る、図示しない制御デバイスによって制御される。

【0037】本発明のシステムはさらに、活性ガス供給パイプ4を介して供給されるガスの進入流量に変動がある場合に、制御された衝撃エネルギー発生装置17によって見られるプラズマのインピーダンスを一定に維持するため、および圧力制御されたバルブ20を介して吸気されるガスのほぼ一定の流量を維持するための補助補償手段を含む。

【0038】示される実施形態では、補助補償手段は、制御された制御ガス注入手段21を含む。制御された制御ガス注入手段21は、制御ガス供給機構22と、制御流量計23と、例えば制御されたガス吸気手段3の近傍の真空エンクロージャの領域25に、制御ガスG3を注入するための補助パイプ24とを含む。

【0039】流量計8、9、および23はそれぞれ、活性ガスG1、G2、および制御ガスG3の入力流量を監視し、このために図面に示されない制御手段によって制御される。

【0040】本発明によれば、活性ガス供給パイプ4を介して入る活性ガスの流量に変動がある場合に、真空エンクロージャ1に注入されるガスの総流量をほぼ一定のレベルに維持するように、制御手段が、制御ガス注入手段、すなわち流量計23を制御するように構成されていることが好ましい。

【0041】図2は、本発明による調整の一例を示す。曲線26は、活性ガス供給パイプ4における第1の活性ガスG1の流量D1のタイミング図であり、例えば時間t0からt1までの一定の最大流量ステップD1、それに続く時間t1からt2までの最小流量ステップD'1、場合によるとゼロ流量ステップ、その後の時間t2

からt3までの最大流量ステップD1などを連続して備える。曲線27は、第2の活性ガスG2の流量D2のタイミング図であり、図中で流量は、時間t0とt1の間では、ゼロである場合がある最小D'2をとり、時間t1とt2の間ではD2に等しい最大をとる。次いで再び、時間t2とt3の間で最小D'2をとり、以下同様に続く。

【0042】時間t0とt1の間のステップは、例えばエッチングステップに対応し、時間t1とt2の間のステップは、例えば保護層生成ステップに対応する。

【0043】時間t1とt2の間の流量D2+D'1が、時間t0とt1の間の流量D1+D'2よりも小さいことに留意されたい。したがって、活性ガス総流量は、時間t0とt1の間でD1+D'2よりも大きい値をとり、時間t1とt2の間でD2+D'1よりも小さい値をとる。

【0044】本発明によれば、時間t1とt2の間で、曲線28によって示されるように、受動制御ガスG3が、 $(D1+D'2)-(D2+D'1)$ にほぼ等しい流量D3で制御された制御ガス注入手段21を介して注入される。

【0045】補完受動制御ガスG3により、使用される交互の活性ガスG1とG2の流量とは無関係に、真空エンクロージャ1に入るガス総流量が、ほぼ一定に維持される。その結果、真空エンクロージャ1内部のガス圧力がほぼ一定になり、同様にプラズマのインピーダンスもほぼ一定になる。したがって、衝撃インピーダンスアダプタ18が正常に動作して、制御された衝撃エネルギーを基板16に伝え、圧力制御されたバルブ20が正常に動作して、真空エンクロージャ1の内部の圧力をゆっくりと制御する。

【0046】制御されたガス吸気手段3の近傍の真空エンクロージャ1の領域25に、受動制御ガスG3を供給することによって、制御ガスは、プラズマ内でイオン化されるのを防止され、そのため基板16の現行処理の結果にある程度寄与する。

【0047】したがって、本発明は、1秒程度の時間期間内で活性ガス流量変動に応答する、プラズマ真空堆積またはエッチングシステムにおいて使用される圧力制御およびインピーダンスマッチングシステムの能力が無いことを克服する。

【0048】その結果、図1に示されるように、本発明のシステムを使用して、連続する処理ステップ中に異なるガス流量G1とG2を選択し、各ステップを最適化することができる。

【0049】本発明のプラズマ真空基板処理方法では、真空エンクロージャ1内のガス圧力を調整するために、全活性ガス注入流れが、少なくともある時間に制御されたガス吸気手段3の能力よりも大きい率で突然変化する。そのような活性ガス注入流れ変動は、例えば図2に

おける時間 $t_1$ 、 $t_2$ 、または $t_3$ で生じる。制御された制御ガス注入装置手段21からなる補助補償手段は、制御された衝撃エネルギー発生装置17およびその衝撃インピーダンスアダプタ18によって見られるプラズマのインピーダンスをほぼ一定に維持する。

【0050】制御された衝撃エネルギー発生装置17によって見られるプラズマのインピーダンスは、真空エンクロージャ1内への少なくとも一種類の受動制御ガスG3の制御された注入を行うことによって、ほぼ一定に維持されて、真空エンクロージャ1内部でほぼ一定のガス圧力を維持する。

【0051】本発明の方法の一適用例は、例えば基板16をエッチングすることにある。シリコンベース基板16をエッチングする際、第1の活性ガスG1が、第1の時間期間 $T_1 = t_1 - t_0$ 中第1の流量 $D_1$ での六フッ化硫黄 $SF_6$ であるエッチングステップと、第2の活性ガスG2が、第2の時間期間 $T_2 = t_2 - t_1$ 中第2の流量 $D_2$ での $C_4F_8$ であり、窒素やアルゴンなど補充流量 $D_3 = D_1 - D_2$ の受動制御ガスG3の注入をともなう保護層生成ステップとを、交互に含む短いステップの連続を使用することが可能である。例えば、 $D_1 = 300 \text{ Sccm}$ の $SF_6$ 、3秒間であり、 $D_2 = 200 \text{ Sccm}$ の $C_4F_8$ 、1秒間である。 $D_3 = 100 \text{ Sccm}$ であり、流量 $D_2$ と同時である。

【0052】当然、本発明では、処理すべき基板の性質および処理のタイプに応じて、他の活性ガス、他の受動ガス、他の期間およびガス流量パラメータを選択することができる。

【0053】本発明によるシステムの速い適応性により、活性ガス流量が異なる連続処理ステップを迅速に交互に繰り返すことが可能である。また、同じ活性ガスの流量を迅速に変化させることも可能である。

【0054】本発明は、エッチングにも堆積にも等しく適用できる。

【0055】図3および4は、本発明による方法のエッチングへの一適用例を示す。

【0056】図3は、保護層を生成するステップを示す。マスク116によって部分的に覆われた基板16は、マスク116によって覆われていない領域にキャビティ216をすでに組み込んでいる。保護層を生成するステップ中、パッシベーションガスが、水平表面だけでなく、キャビティ216の底部416および側面516を含めた上面全体にわたって保護層316を生成する。

【0057】図4に示されるエッチングステップ中、キ

ャビティ216の底部416に向かう方向への方向性イオン衝撃が、次第に底部416を下げる。保護層316は側面516に依然として存在する。しかし、底部416の高さが下がった結果、側面516の下端部616は、保護層316がない。そのため、短いエッチングステップ（図4）と短い保護層生成ステップ（図3）を交互に繰り返し、それにより十分に高い周波数、例えば1 Hz程度の周波数で動作するようにする必要がある。

【0058】本発明は、例示的に説明した実施形態に限定されず、当業者に明らかな変形例および一般化を含む。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のプラズマ真空基板処理システムの第1の実施形態を示す図である。

【図2】本発明のプラズマ真空基板処理方法の一実施形態において、真空チャンバに供給される様々なガスの流量の変動を示すタイミング図である。

【図3】本発明の方法の、基板のエッチングへの適用を示す基板の横断面図である。

【図4】本発明の方法の、基板のエッチングへの適用を示す基板の横断面図である。

【符号の説明】

- 1 真空エンクロージャ
- 2 制御された活性ガス注入手段
- 3 制御されたガス吸気手段
- 4 活性ガス供給パイプ
- 5 頂部
- 6、7 活性ガス供給機構
- 8、9 流量計
- 10 プラズマ発生手段
- 11 高周波励磁発生装置
- 12 励磁インピーダンスアダプタ
- 13 励磁巻線
- 14 底部
- 15 基板支持機構
- 16 基板
- 17、18 制御された衝撃エネルギー発生装置
- 19 ガスポンピング手段
- 20 圧力制御されたバルブ
- 21 補助補償手段
- 22 制御ガス供給機構
- 23 制御流量計
- 24 補助パイプ
- 121 圧力ゲージ

【図1】

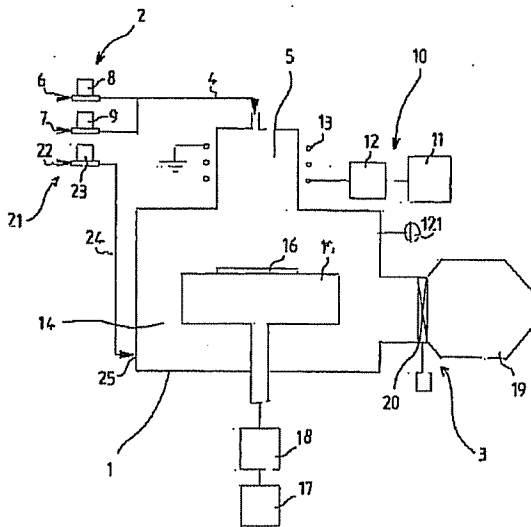


FIG. 1

【図2】

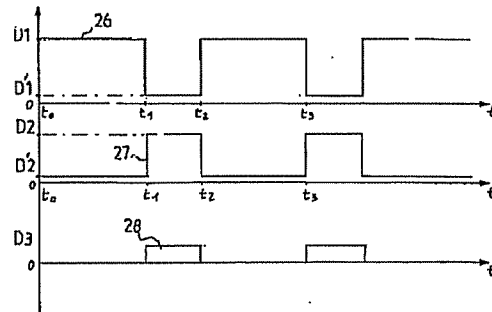


FIG. 2

【図3】

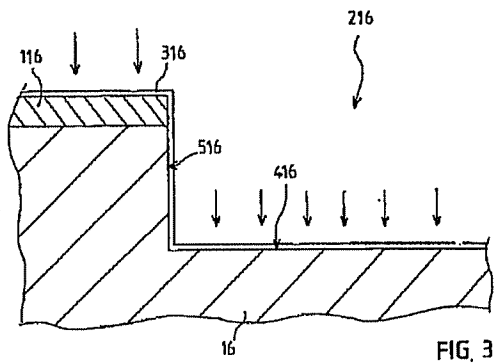


FIG. 3

【図4】

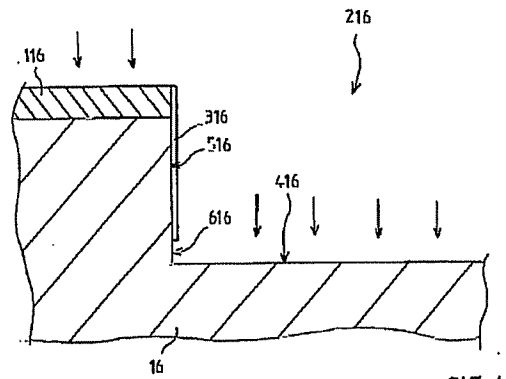


FIG. 4



【外国語明細書】

**1. Title of Invention**

A PLASMA VACUUM SUBSTRATE TREATMENT PROCESS AND SYSTEM

**2. Claims**

1. A plasma vacuum substrate treatment process in which the substrate (16) is placed in a vacuum enclosure (1) containing active gases injected via controlled active gas injection means (2) and evacuated via controlled gas aspiration means (3), the active gases are ionized by plasma-generating means (10), and the substrate (16) receives electrical bombardment energy generated by a controlled bombardment energy generator (17, 18), characterized in that:

- the process includes at least one sequence of variation of the flow of injected active gas at a rate of variation greater than the capacity to regulate the gas pressure in the vacuum enclosure (1) of the controlled gas aspiration means (3), and
- the impedance of the plasma as seen by the controlled bombardment energy generator (17, 18) is maintained substantially constant by auxiliary compensation means (21) during the active gas injection flow variation sequence.

2. A process according to claim 1, characterized in that the impedance of the plasma as seen by the controlled bombardment energy generator (17, 18) is maintained substantially constant by controlled injection of at least one passive control gas (G3) into the vacuum enclosure (1) to maintain substantially constant the total flow of gas injected into the vacuum enclosure (1).

3. A process according to claim 2, characterized in that the passive control gas (G3) is injected into the vacuum enclosure (1) in an area (25) close to the controlled gas aspiration means (3) in order to prevent it being ionized.

4. A process according to any one of claims 1 to 3, characterized in that it includes a succession of steps of injecting active gas at a first injection flowrate (D1) and steps of injecting active gas at a second injection flowrate (D2) different from the first injection flowrate (D1), at least some of the steps being shorter than the reaction time of the controlled gas aspiration means (3).

5. A process according to claim 4, characterized in that the bombardment power communicated to the substrate (16) differs from one step to another.

6. A process according to any one of claims 2 to 5, characterized in that it is applied to etching the substrate (16).

7. A process according to claim 6, characterized in that, for etching a silicon-based substrate (16), a succession of alternating short steps is used comprising an etching step in which the first active gas (G1) is  $\text{SF}_6$  at a first flowrate (D1) during a first time period (T1) and a protection layer generating step during which the second active gas (G2) is  $\text{C}_4\text{F}_8$  at a second flowrate (D2) during a second time period (T2) with simultaneous injection of a complementary flowrate ( $\text{D3} = \text{D1} - \text{D2}$ ) of a passive control gas (G3) such as nitrogen or argon.

8. A process according to any one of claims 1 to 5, characterized in that it is applied to depositing a deposit on the substrate (16).

9. A plasma vacuum substrate (16) treatment system comprising:

- a vacuum enclosure (1),
- controlled active gas injection means (2) for injecting gas into the vacuum enclosure (1),
- controlled gas aspiration means (3) for aspirating gas out of the vacuum enclosure (1),

- plasma-generating means (10) in the vacuum enclosure (1),
- substrate support means (15) for supporting the substrate (16) in the vacuum enclosure (1), and
- a controlled bombardment energy generator (17) adapted to communicate to the substrate (16) placed on the substrate support means (15) an appropriate level of bombardment energy, characterized in that it further includes auxiliary compensation means (21) for maintaining substantially constant the impedance of the plasma as seen by the controlled bombardment energy generator (17) in the event of variations in the gas entry flowrate and for maintaining substantially constant the gas aspiration flowrate.

10. A system according to claim 9, characterized in that the auxiliary compensation means include means (21) for controlled injection of at least one passive control gas into the vacuum enclosure (1).

11. A system according to claim 10, characterized in that the controlled control gas injection means (21) are adapted to inject the passive control gas into an area (25) of the vacuum enclosure (1) near the controlled gas aspiration means (3).

12. A system according to any one of claims 9 to 11, characterized in that it includes control means for controlling the controlled control gas injection means (21) to maintain substantially constant the total flow of gas injected into the vacuum enclosure (1).

### 3. Detailed Description of Invention

The present invention relates to plasma vacuum treatment (etching or deposition) of a substrate.

Plasma vacuum substrate treatment processes are already known in the art, such as the etching process described in document WO 94/14187, in which the substrate is placed in a vacuum enclosure containing active gases injected in particular via controlled active gas injection means and evacuated via controlled gas aspiration means. The active gases are ionized by plasma-generating means. The substrate in the vacuum enclosure receives bombardment electrical energy generated by a controlled bombardment generator to which it is connected.

During an etching step, ions of a reactive material such as sulfur hexafluoride, generated by ionization, are accelerated by the bombardment energy and impinge on the substrate, for example a silicon-based substrate, in areas that are not covered by a mask. The active ions combine with the material of the substrate to form a gaseous substance that is evacuated by the gas aspiration means.

One problem is to obtain etching with well-defined outlines, i.e. in which the cavities have side walls that are as regular as possible and perpendicular to the surface of the substrate.

To this end, document WO 94/14187 teaches that etching should be carried out by means of an alternating succession of etching steps and protection layer generating steps. During a protection layer generating step, the vacuum enclosure contains an active gas of a first type, such as trifluoromethane ( $\text{CHF}_3$ ), which produces a polymerized layer over all of the surface of the substrate, including the bottom and side faces of the cavity. During an etching step the vacuum enclosure contains an active gas of a second type, such as sulfur hexafluoride, which produces ions which are accelerated

towards the substrate to produce directional bombardment that impinges selectively on the bottom of the cavities to remove the material of the substrate selectively from the bottom of the cavities without attacking the side faces.

However, it is clear that the etching step lowers the bottom of the cavity relative to the bottom edge of the lateral polymerized protection layer, with the result that an area appears at the bottom of the side face that is not protected by a layer of polymerized material. The active ion bombardment tends to undercut the cavity at the bottom and widen it, affecting the regularity of the side face of the cavity.

To avoid this phenomenon, it is necessary to use a fast alternation of short etching and protection layer generating steps.

Another problem is to optimize performance in terms of etching and protection layer generation.

In most plasma vacuum treatment processes (etching or deposition), the main parameters that can be altered to optimize etching or deposition performance are: the flowrates of the various gases, the working pressure, the electromagnetic power coupled to the plasma to generate it, and the energy with which the substrate is bombarded.

Like the rate of deposition or etching, the selectivity relative to the mask, the regularity of the etching profiles, and the conformity of the deposited layers, etching or deposition performance depends on the conditions of the gaseous phase discharge in terms of the power coupled to the plasma, working pressure and substrate bombardment energy.

As a general rule, to optimize a deposition or etching process, the flowrates of the various gases, the electromagnetic power coupled to the plasma and the substrate bombardment energy are optimized at precise and constant values throughout the treatment.

For example, if patterns are to be plasma etched

into a silicon wafer, the active gas flowrates are set at well-defined and constant values, the electromagnetic power coupled to the plasma to a precise value, and likewise the value of the working pressure and the bias voltage, which determine the energy with which the substrate is bombarded by the ions. The above values are held constant throughout the treatment step. In particular, the gas flowrates are set to a precise value and the pressure is maintained at a predetermined value using a pressure regulator system. The pressure regulator system is generally a pump system including at least one pump downstream of a regulator valve slaved to the working pressure, thereby constituting controlled gas aspiration means. Accordingly, regardless of the gas flowrates required, the pressure regulator valve is set so that it procures the required working pressure in the reaction chamber.

The above controlled gas aspiration means operate correctly to regulate the pressure in the event of slow variations in the gas flowrates. However, it is apparent that they cannot efficiently track fast variations in the gas flowrates, such as the variations that can occur if it is required to optimize not only the etching steps but also the protection layer generation steps in an etching process according to document WO 94/14187 by alternating the etching and protection layer generation steps at a sufficiently high frequency to attain sufficiently regular lateral cavity faces. For example, it may be beneficial for the alternating phases to include etching phases with a duration of approximately three seconds and protection layer generation phases with a duration of approximately one second. If the gas flowrate during the etching step is different from the gas flowrate during the protection layer generation step, the mechanical inertia of the controlled regulation valve is unable to track variations this fast.

Nor does the mechanical inertia of the controlled

regulator valve allow rapid setting of the gas pressure to two successive different values to optimize two successive short treatment steps.

Another problem is that if the gas pressure inside the vacuum enclosure varies between two successive steps, this produces a variation in the impedance of the plasma as seen by the controlled bombardment energy generator connected to the substrate, and it is then no longer possible to control the bombardment energy efficiently to assure the regularity of the treatment.

The controlled bombardment energy generator is generally associated with an impedance adapter for matching the impedance of the energy source to that of the plasma. The impedance adapter can track slow variations in the impedance of the plasma, for which purpose it comprises a variable capacitor whose capacitance is varied by mechanically moving the capacitor plates relative to each other. However, a device of the above kind is not able to track fast impedance variations, i.e. variations occurring at a frequency in the order of 1 Hz.

The problem addressed by the present invention is therefore that of devising a process and a system in which the flow of active gas in the vacuum enclosure can be varied quickly for vacuum treatment of a substrate without interfering with the means for controlling and regulating ionic bombardment of the substrate.

Another object of the invention is to provide means for obtaining a controlled pressure in the vacuum enclosure using conventional controlled gas aspiration means employing pressure regulator valves but allowing the active gas flowrates to be varied quickly.

To achieve the above and other objects, in a plasma vacuum substrate treatment process of the invention the substrate is placed in a vacuum enclosure containing active gases injected via controlled active gas injection means and evacuated via controlled gas aspiration means,

the active gases are ionized by plasma-generating means, and the substrate receives electrical bombardment energy generated by a controlled bombardment energy generator; the process includes at least one sequence of variation of the flow of injected active gas at a rate of variation greater than the capacity to regulate the gas pressure in the vacuum enclosure of the controlled gas aspiration means; the impedance of the plasma as seen by the controlled bombardment energy generator is maintained at a substantially constant level by auxiliary compensation means during the active gas injection flow variation sequence.

In an advantageous embodiment of the invention the impedance of the plasma as seen by the controlled bombardment energy generator is maintained substantially constant by controlled injection of at least one passive control gas into the vacuum enclosure to maintain substantially constant the total flow of gas injected into the vacuum enclosure.

The passive control gas is preferably injected into the vacuum enclosure in an area close to the control gas aspiration means in order to prevent it being ionized.

In a first application, the process includes a succession of steps of injecting active gas at a first injection flowrate and steps of injecting active gas at a second injection flowrate different from the first injection flowrate; at least some of the steps being shorter than the reaction time of the controlled gas aspiration means.

The bombardment power communicated to the substrate can differ from one step to another.

The process can be applied to etching a substrate, for example a silicon-based substrate. In this case, a succession of alternating short steps is advantageously used comprising an etching step in which the first active gas is  $\text{SF}_6$  during a first time period at a first flowrate and a protection layer generating step during which the



second active gas is  $C_4F_8$  during a second time period at a second flowrate with simultaneous injection of a complementary flowrate of a passive control gas such as nitrogen or argon.

The process can instead be applied to depositing a deposit on the substrate.

A plasma vacuum substrate treatment system of the invention for implementing a process of the above kind comprises:

- a vacuum enclosure,
- controlled active gas injection means for injecting gas into the vacuum enclosure,
- controlled gas aspiration means for aspirating gas out of the vacuum enclosure,
- plasma-generating means in the vacuum enclosure,
- substrate support means for supporting the substrate in the vacuum enclosure,
- a controlled bombardment energy generator adapted to communicate to the substrate placed on the substrate support means an appropriate level of bombardment energy, and
- auxiliary compensation means for maintaining substantially constant the impedance of the plasma as seen by the controlled bombardment energy generator in the event of variation of the gas entry flowrate and for maintaining substantially constant the gas aspiration flowrate.

In an advantageous embodiment the auxiliary compensation means include means for controlled injection of at least one passive control gas into the vacuum enclosure.

The controlled control gas injection means are preferably adapted to inject the passive control gas into an area of the vacuum enclosure near the controlled gas aspiration means.

The system advantageously includes control means for controlling the controlled control gas injection means to

maintain substantially constant the total flow of gas injected into the vacuum enclosure.

Other objects, features and advantages of the present invention emerge from the following description of particular embodiments of the invention, which description is given with reference to the accompanying diagrammatic drawings.

In the embodiment shown in Figure 1, the plasma vacuum substrate treatment system includes a vacuum enclosure 1 with controlled active gas injection means 2 for injecting gas into the vacuum enclosure 1 and controlled gas aspiration means 3 for aspirating gas out of the vacuum enclosure 1.

The controlled active gas injection means 2 include an active gas supply pipe 4 connected to the top part 5 of the vacuum enclosure 1 and receiving a first active gas G1 from a first active gas supply 6 and a second active gas G2 from a second active gas supply 7, each active gas supply being associated with a respective flowmeter 8, 9.

The top part 5 of the vacuum enclosure 1 also includes plasma generating means 10 including a high-frequency excitation generator 11 connected via an excitation impedance adapter 12 to an excitation winding 13. The plasma generating means 10 ionize the gases in the top part of the vacuum enclosure 1 to form a plasma.

A substrate support 15 in the bottom part 14 of the

vacuum enclosure 1 supports a substrate 16 to be treated. The substrate 16 faces towards the top part 5 containing the plasma. The substrate support 15 is electrically connected to a controlled bombardment energy generator 17 via a bombardment impedance adapter 18.

The controlled gas aspiration means 3 include gas pumping means 19 whose aspiration inlet is connected to the bottom part 14 of the vacuum enclosure 1 via a pressure-controlled valve 20. The pressure-controlled valve 20 is controlled by a control device, not shown, receiving information from a pressure gauge 121 adapted to sense the pressure inside the vacuum enclosure 1.

The system of the invention further includes auxiliary compensation means for maintaining the impedance of the plasma as seen by the controlled bombardment energy generator 17 constant in the event of variations in the entry flowrate of the gases fed via the active gas supply pipe 4 and for maintaining a substantially constant flowrate of the gas aspirated through the pressure-controlled valve 20.

In the embodiment shown, the auxiliary compensation means include controlled control gas injection means 21. The controlled control gas injection means 21 include a control gas supply 22, a control flowmeter 23 and an auxiliary pipe 24 for injecting a control gas G3 into an area 25 of the vacuum enclosure near the controlled gas aspiration means 3, for example.

The flowmeters 8, 9 and 23 respectively monitor the input flowrates of the active gases G1 and G2 and the control gas G3 and to this end are controlled by control means which are not shown in the figure.

According to the invention, the control means are preferably adapted to control the control gas injection means, i.e. the flowmeter 23, so as to maintain at a substantially constant level the total flow of gas injected into the vacuum enclosure 1 in the event of variations in the flowrate of the active gases entering

via the active gas supply pipe 4.

Figure 2 shows one example of regulation in accordance with the invention: the curve 26 is a timing diagram of the flowrate D1 of a first active gas G1 in the active gas supply pipe 4 and comprises in succession a constant maximum flowrate step D1, for example from time t0 to time t1, followed by a minimum flowrate step D'1, possibly a zero flowrate step, from time t1 to time t2, then a maximum flowrate step D1 from time t2 to time t3, etc. The curve 27 is a timing diagram of the flowrate D2 of a second active gas G2 and in the diagram the flowrate is at a minimum D'2, which can be zero, between times t0 and t1 and at maximum equal to D2 between times t1 and t2. It is then again at a minimum D'2 between times t2 and t3, etc.

The step between times t0 and t1 can correspond to an etching step, for example, and the step between times t1 and t2 can correspond to a protection layer generation step, for example.

Note that the flowrate  $D2 + D'1$  between times t1 and t2 is less than the flowrate  $D1 + D'2$  between times t0 and t1. Consequently, the total active gas flowrate takes a value greater than  $D1 + D'2$  between times t0 and t1 and a value less than  $D2 + D'1$  between times t1 and t2.

According to the invention, between times t1 and t2, a passive control gas G3 is injected at a flowrate D3 substantially equal to  $(D1 + D'2) - (D2 + D'1)$ , as shown by the curve 28, via the controlled control gas injection means 21.

Because of the complementary passive control gas G3, the total gas flowrate entering the vacuum enclosure 1 is maintained substantially constant, regardless of the flowrate of the alternating active gases G1 and G2 employed. As a result, the gas pressure inside the vacuum enclosure 1 is substantially constant and the impedance of the plasma is likewise substantially

constant. The bombardment impedance adapter 18 therefore operates correctly and transmits a controlled bombardment energy to the substrate 16 and the pressure-controlled valve 20 operates correctly for slow control of pressure inside the vacuum enclosure 1.

By feeding the passive control gas G3 into the area 25 of the vacuum enclosure 1 near the controlled gas aspiration means 3, the control gas is prevented from being ionized in the plasma and therefore contributes to some degree to the results of the current treatment of the substrate 16.

Thus the invention overcomes the inability of pressure control and impedance matching systems as used in plasma vacuum deposition or etching systems to respond to active gas flowrate variations within a time period in the order of one second.

Consequently and as shown in Figure 1, the system of the invention can be used to choose different gas flowrates G1 and G2 during successive treatment steps, to optimize each step.

In a plasma vacuum substrate treatment process of the invention, the overall active gas injection flow changes suddenly at certain times at least, and at a rate greater than the capacity of the controlled gas aspiration means 3 to regulate the gas pressure in the vacuum enclosure 1. Such active gas injection flow variations occur at times t1, t2 or t3 in Figure 2, for example. The auxiliary compensation means consisting of the controlled control gas injector means 21 maintain substantially constant the impedance of the plasma as seen by the controlled bombardment energy generator 17 and its bombardment impedance adapter 18.

The impedance of the plasma as seen by the controlled bombardment energy generator 17 is maintained substantially constant by controlled injection of at least one passive control gas G3 into the vacuum enclosure 1 to maintain a substantially constant gas

pressure inside the vacuum enclosure 1.

One application of the process of the invention lies in etching the substrate 16, for example. For etching a silicon-based substrate 16 it is possible to use a succession of short steps comprising, alternately, an etching step in which the first active gas G1 is sulfur hexafluoride  $SF_6$  at a first flowrate D1 during a first time period  $T1 = t1 = t0$  and a protection layer generation step in which the second active gas G2 is  $C_4F_8$  at a second flowrate D2 during a second time period  $T2 = t2 - t1$ , with injection of a complementary flowrate  $D3 = D1 - D2$  of a passive control gas G3 such as nitrogen or argon. For example,  $D1 = 300$  Sccm of  $SF_6$  for 3 seconds and  $D2 = 200$  Sccm of  $C_4F_8$  for one second.  $D3 = 100$  Sccm, simultaneously with the flowrate D2.

Naturally, in the invention, and depending on the nature of the substrate to be treated and the type of treatment, other active gases, other passive gases and other duration and gas flowrate parameters can be chosen.

Thanks to the rapid adaptability of the system according to the present invention, it is possible to alternate quickly successive treatment steps in which the active gas flowrates are different. It is also possible to vary quickly the flowrate of the same active gas.

The invention applies equally to etching and to deposition.

Figures 3 and 4 show one application of the process according to the invention to etching.

Figure 3 shows the step of generating a protection layer: the substrate 16, partly covered by the mask 116, already incorporates a cavity 216 in an area that is not covered by the mask 116. During the step of generating the protection layer, the passivating gas generates a protection layer 316 over all of the top surface, not just the horizontal surfaces, including over the bottom 416 and the side face 516 of the cavity 216.

During the etching step shown in Figure 4,

directional ion bombardment in the direction towards the bottom 416 of the cavity 216 progressively lowers the bottom 416. The protection layer 316 is still present on the side face 516. However, as a result of the lowering of the level of the bottom 416, a bottom portion 616 of the side face 516 is deprived of the protection layer 316. This is why it is necessary to alternate short etching steps (Figure 4) and short protection layer generation steps (Figure 3) and therefore to operate at a sufficiently high frequency, for example a frequency of the order of 1 Hz.

The present invention is not limited to the embodiments explicitly described but includes variants and generalizations thereof that will be evident to the skilled person.

#### **4. Brief Description of Drawings**

- Figure 1 shows a first embodiment of a plasma vacuum substrate treatment system of the present invention.
- Figure 2 shows a timing diagram showing the variations in the flowrate of the various gases fed into the vacuum chamber in one embodiment of a plasma vacuum substrate treatment process of the invention.
- Figures 3 and 4 are lateral sections of a substrate illustrating application of a process of the invention to etching the substrate.





Fig. 2

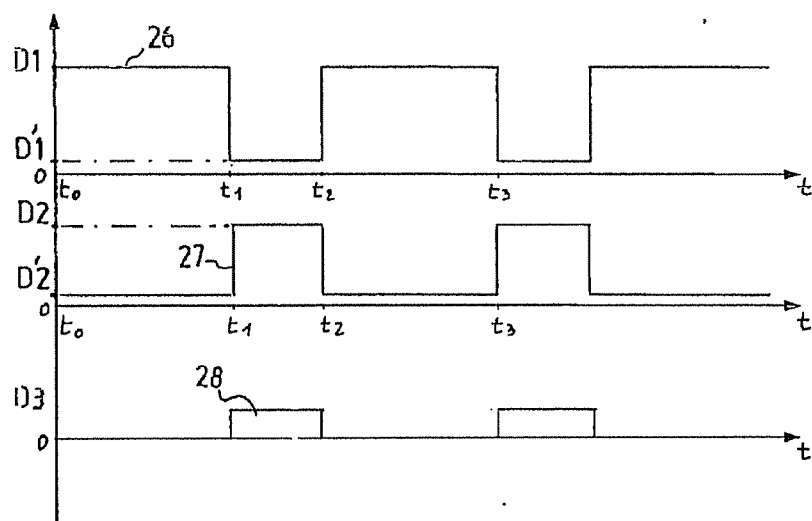


FIG. 2

Fig. 3

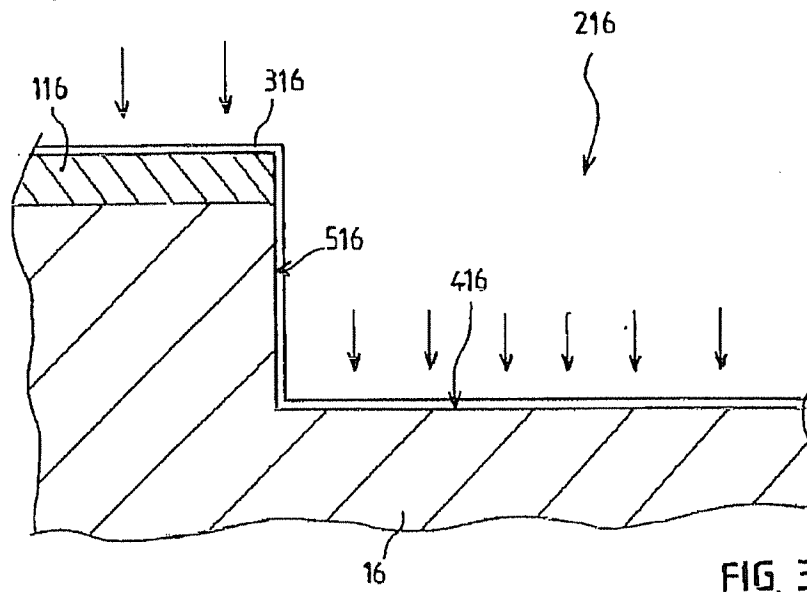
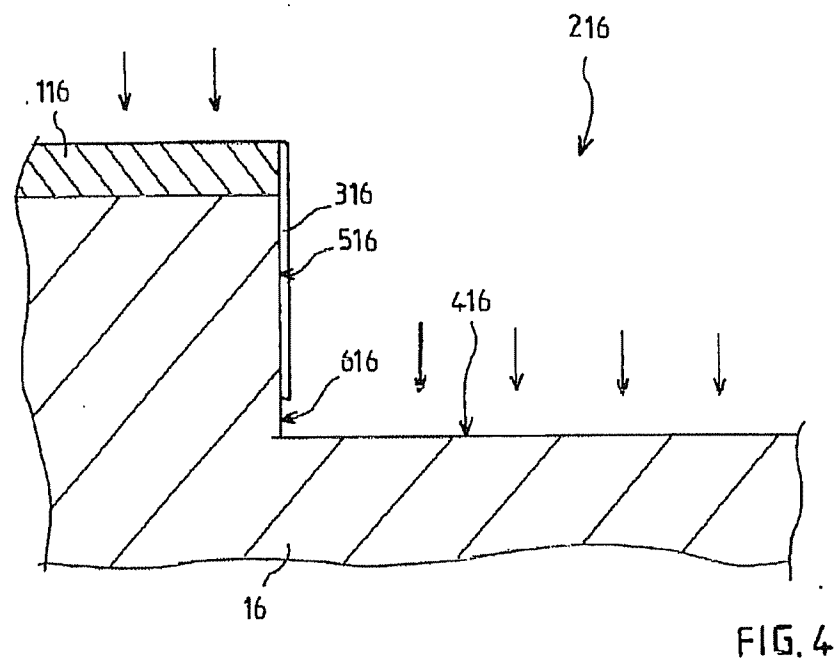


Fig. 4



## 1. Abstract

In a process for treatment of a substrate (16) placed in a vacuum enclosure (1), the invention provides for compensating any variation of the active gas supply flowrate through an active gas supply pipe (4) by injecting a complementary flowrate of control gas into an area (25) near controlled gas aspiration means (3). This circumvents the inability of pressure control systems and impedance matching systems to respond in times of the order of one second to variations of the input active gas flowrate.

## 2. Representative Drawing

Fig. 1